

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平8-160236

(43)公開日 平成8年(1996)6月21日

(51)Int.Cl.<sup>6</sup>

G 0 2 B 6/13

識別記号

片内整理番号

F I

技術表示箇所

G 0 2 B 6/ 12

M

審査請求 未請求 請求項の数6 O L (全 8 頁)

(21)出願番号 特願平6-303744

(22)出願日 平成6年(1994)12月7日

(71)出願人 000002130

住友電気工業株式会社

大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号

(72)発明者 広瀬 智財

神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電

気工業株式会社横浜製作所内

(72)発明者 金森 弘雄

神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電

気工業株式会社横浜製作所内

(72)発明者 服部 哲也

神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電

気工業株式会社横浜製作所内

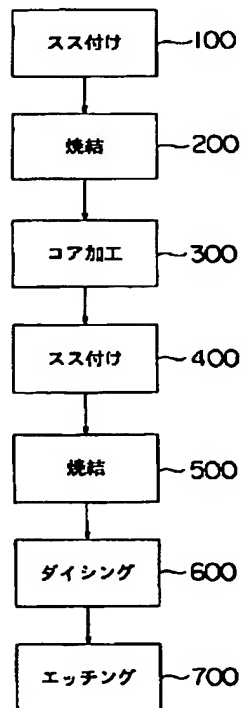
(74)代理人 弁理士 長谷川 芳樹 (外3名)

(54)【発明の名称】 光導波路の作製方法

(57)【要約】

【目的】 変形が少なく良好な偏波特性を示す光導波路を作製する。

【構成】 基板上に火炎堆積法をもちいて下部クラッド層、コアおよび上部クラッド層からなるガラス導波層を形成してから基板をチップ化した後で、このチップ上のガラス層にウェットエッチングを施す。これによって、上部クラッド層のうち屈折率変動幅の大きい上部を除去されるので、除去後の上部クラッド層の屈折率変動幅は十分に小さくなる。また、ガラス導波層の側面からもエッチングが進行することにより、チップ化の際に導波層側部に形成された歪み部が除去されるので、ガラス導波層の屈折率変動をさらに低くなる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 基板上に形成された下部クラッド層と、この下部クラッド層の上に形成されたコアとを有する光導波路基体を用意する第1の工程と、

この光導波路基体の上に火炎中で生成したガラス微粒子を吹き付けて上部クラッド層となるガラス微粒子層を形成する第2の工程と、

このガラス微粒子層に熱処理を施すことにより、このガラス微粒子層を透明ガラス化して上部クラッド層を形成する第3の工程と、

上記の工程によりガラス層が形成された前記基板を切り分けて前記コアを有するチップにする第4の工程と、

このチップが有する前記上部クラッド層の上部を除去することにより、次のような前記下部クラッド層との屈折率差比 $\Delta n$

$$\Delta n = (n - n_2) / n_2 \times 100 [\%]$$

( $n$ は対象物の屈折率、 $n_2$ は前記下部クラッド層の屈折率)を用いて表現される前記上部クラッド層の層厚方向に沿った屈折率分布において屈折率差比 $\Delta n$ の変動幅が約0.05[%]以下となるような厚さに前記上部クラッド層を成形する第5の工程と、

を備えることを特徴とする光導波路の作製方法。

【請求項2】 前記第1の工程は、

火炎中で生成したガラス微粒子を基板に吹き付けて前記下部クラッド層となるガラス微粒子層を形成し、

次いで、このガラス微粒子層の上に火炎中で生成したガラス微粒子を吹き付けて前記コアとなるガラス微粒子層を形成し、

この後、これらのガラス微粒子層に熱処理を施することによりこれらのガラス微粒子層を透明ガラス化して、前記下部クラッド層、および前記コアとなるコア層を形成し、

続いて、このコア層にパターンニング加工を施し、所定の光導波路パターンを有する複数の前記コアを形成することにより、前記光導波路基体を作製する工程であることを特徴とする請求項1記載の光導波路の作製方法。

【請求項3】 前記第5の工程は、前記チップ上のガラス層にウェットエッチングを施す工程であることを特徴とする請求項1または2記載の光導波路の作製方法。

【請求項4】 前記ウェットエッチングは、 $\text{HF}-\text{NH}_4\text{F}$ 溶液をエッチング液として用いることにより行うことを特徴とする請求項3記載の光導波路の作製方法。

【請求項5】 前記基板としてシリコンウェーハを用い、

前記ガラス微粒子として石英系のガラス微粒子を吹き付け、

前記第5の工程において、前記上部クラッド層を約10～約30 $\mu\text{m}$ の厚さに成形することを特徴とする請求項1～4のいずれかに記載の光導波路の作製方法。

【請求項6】 前記第5の工程において、前記上部クラ

ッド層の上部を約10～約20 $\mu\text{m}$ だけ除去することを特徴とする請求項5記載の光導波路の作製方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、火炎堆積法を用いた光導波路の作製方法に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】火炎堆積法を用いた従来の光導波路の作製方法には、例えば、特開昭58-105111に記載されるようなものがある。図1は、この作製方法を説明するフローチャートである。この方法では、まず、火炎バーナに $\text{SiCl}_4$ 、 $\text{BBr}_3$ および $\text{POCl}_3$ を供給しながら火炎中で生成されたガラス微粒子をシリコンウェーハに吹き付けて、ウェーハ上に下部クラッド層となるべき多孔質のガラス微粒子層( $\text{SiO}_2 + \text{B}_2\text{O}_3 + \text{P}_2\text{O}_5$ )を形成する。次に、バーナに $\text{SiCl}_4$ 、 $\text{GeCl}_4$ 、 $\text{BCl}_3$ および $\text{POCl}_3$ を供給しながら火炎中で生成されたガラス微粒子をシリコンウェーハに吹き付けて、下部クラッド層の上にコアとなる多孔質のガラス微粒子層( $\text{SiO}_2 + \text{GeO}_2 + \text{B}_2\text{O}_3 + \text{P}_2\text{O}_5$ )を形成する。これらのガラス微粒子層はスス状のものであるので、ガラス微粒子層を形成する上記の工程はスス付けと呼ばれる(図1のステップ100)。

【0003】続いて、これら二つのガラス微粒子層を焼結してから徐冷して透明ガラス化する(ステップ200)。次に、このようにして形成したコア層に適当なパターンニング加工を施して、所望の光導波路パターンを有するコアを形成する(ステップ300)。通常は、大量生産のために複数のコアを一度に形成する。

【0004】この後、下部クラッド層及びコアの上に上部クラッド層となるべきガラス微粒子層を下部クラッド層と同様にしてスス付けし(ステップ400)、その後、焼結、徐冷して上部クラッド層を形成する(ステップ500)。最後に、シリコンウェーハをダイシングし、各コアが形成された部分ごと切り分けてチップ化する(ステップ600)。このようにすることで、複数の光導波路を一括して作製することができる。

## 【0005】

【発明が解決しようとする課題】従来の作製方法では、上記の石英系ガラスとシリコンのようにガラス導波層と基板とで熱膨張係数が異なる場合、ガラス微粒子層の透明ガラス化の際にガラス層の内部(主として上部クラッド層)に不均一な応力が発生する。これにより、ガラス層の内部で屈折率が不均一となる結果、TEモードおよびTMモードの伝送特性に異なる影響を与えて偏波特性が劣化するという問題が生じる。また、応力の発生によって光導波路に変形が生じるため、この光導波路に光コネクタ等を用いて光ファイバを接続する場合、光導波路のコアと光ファイバのコアとの間に位置ずれが生じやすく、接続損失が大きくなりやすい。

【0006】さらに、基板をチップに切り分ける際、ガラス導波層の側部に機械的な歪みが生じて残留するが、この残留歪もガラス層の屈折率を不均一にして伝送特性に影響を与え偏波特性を劣化させるので、光導波路の作製上問題となる。

【0007】本発明は、上記の問題点を解決するためになされたもので、変形が少なく良好な偏波特性を示す光導波路を作製することを目的とする。

【0008】

【課題を解決するための手段】上記の問題点を解決するために、本発明の光導波路の作製方法は、基板上に形成された下部クラッド層と、この下部クラッド層の上に形成されたコアとを有する光導波路基体を用意する第1の工程と、この光導波路基体の上に火炎中で生成したガラス微粒子を吹き付けて上部クラッド層となるガラス微粒子層を形成する第2の工程と、このガラス微粒子層に熱処理を施すことにより、このガラス微粒子層を透明ガラス化して上部クラッド層を形成する第3の工程と、上記の工程によりガラス層が形成された基板を切り分けてコアを有するチップにする第4の工程と、このチップが有する上部クラッド層の上部を除去することにより、次のような下部クラッド層との屈折率差比 $\Delta n$

$$\Delta n = (n - n_2) / n_2 \times 100 [\%]$$

( $n$ は対象物の屈折率、 $n_2$ は前記下部クラッド層の屈折率)を用いて表現される上部クラッド層の層厚方向に沿った屈折率分布において屈折率差比 $\Delta n$ の変動幅が約0.05[%]以下となるような厚さに上部クラッド層を成形する第5の工程とを備えている。

【0009】第1の工程は、火炎中で生成したガラス微粒子を基板に吹き付けて前記下部クラッド層となるガラス微粒子層を形成し、次いで、このガラス微粒子層の上に火炎中で生成したガラス微粒子を吹き付けてコアとなるガラス微粒子層を形成し、この後、これらのガラス微粒子層に熱処理を施することによりこれらのガラス微粒子層を透明ガラス化して、下部クラッド層およびコア層を形成し、続いて、このコア層にパターンニング加工を施し、所定の光導波路パターンを形成することにより、光導波路基体を作製する工程であっても良い。また、下部クラッド層となるガラス微粒子層に熱処理を施して透明ガラス化してから、コアとなるガラス微粒子層を形成し、これに熱処理を施して透明ガラス化することにより、光導波路基体を作製しても良い。

【0010】また、第5の工程における上部クラッド層の上部の除去は、エッチングや研磨により行うことができ、特に、ウェットエッチングによって行うと良い。このウェットエッチングは、 $\text{HF}-\text{NH}_4\text{F}$ 溶液をエッチング液として用いることにより行うことができる。

【0011】基板としてシリコンウェーハを用い、ガラス微粒子として石英系のガラス微粒子を吹き付ける場合には、第5の工程において、上部クラッド層を約10～

約30 $\mu\text{m}$ の厚さに成形すると良い。このとき、第5の工程において、前記上部クラッド層の上部を約10～約20 $\mu\text{m}$ だけ除去するとさらに良い。

【0012】

【作用】本発明者らの知見によれば、火炎堆積法を用いた光導波路の作製方法において、上部クラッド層の形成の際、すなわち上部クラッド層となるガラス微粒子層の透明ガラス化の際に発生する内部応力は、上部クラッド層のうち上面に近い部分ほど大きくなる。そこで、本発明の光導波路の作製方法では、上部クラッド層のうち、内部応力が大きく、したがって屈折率変動幅の大きい上部を除去することによって、除去後の上部クラッド層の内部応力を十分に抑え、その層厚方向に沿った屈折率の変動幅を約0.05%以下と十分に小さくしている。このため、本発明により作製される光導波路は、変形が少なく、良好な偏波特性を示す。

【0013】また、本発明のうちウェットエッチングにより上部クラッド層の上部を除去する方法では、ガラス導波層の側面からもエッチングが進行することにより、チップ化の際に導波層側部に形成された歪み部が除去される。これによって、ガラス導波層の屈折率変動がさらに低減されるので、この方法により作製される光導波路は、変形が非常に小さく、極めて良好な偏波特性を示す。

【0014】本発明者らの知見によれば、基板としてシリコンウェーハを用い、ガラス微粒子層として石英系のガラス微粒子層を形成した場合には、上部クラッド層を約 $\mu\text{m}$ 以下の厚さに成形すると、層厚方向に沿った上部クラッド層の屈折率変動幅が約0.05%以下になる。

また、上部クラッド層を約10 $\mu\text{m}$ 以上の厚さに成形すると、十分な光の閉じ込め作用が得られ、伝送損失が十分に低い光導波路が作製される。特に、上部クラッド層を約10～約30 $\mu\text{m}$ の厚さに成形すると、上部クラッド層の層厚方向に沿った屈折率変動幅が極めて低いうえに、伝搬光の放射損失も十分に低い光導波路が得られるので、非常に好適である。

【0015】また、基板としてシリコンウェーハを用い、ガラス微粒子層として石英系のガラス微粒子層を形成した場合には、ウェットエッチングにより上部クラッド層を約10 $\mu\text{m}$ 以上除去すると、導波層の歪み部が十分に除去される。また、上部クラッド層の除去部の厚さを約20 $\mu\text{m}$ 以下にすると、エッチングにより生じる導波層側面の面だれが十分に抑えられる。これにより、変形が少なく、良好な偏波特性を示す光導波路が作製される。

【0016】

【実施例】以下、添付図面を参照しながら本発明の実施例を詳細に説明する。なお、図面の説明において同一の要素には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。

【0017】図2は、本実施例の光導波路の作製方法を

## 5

説明するフローチャートである。また、図3～図9は、本実施例の作製方法の一部を示す工程図である。本実施例では、直径4インチ、厚さ1.0mmのシリコンウェーハを基板として用意し、このウェーハ上に火炎堆積法を用いて石英系ガラスからなる導波層を形成する。

【0018】まず、図3のように、シリコンウェーハ1上に下部クラッド層となる第1のガラス微粒子層10を形成する。これは、酸水素炎バーナ50を用い、酸水素炎中にガラス微粒子10の原料となる $\text{SiCl}_4$ 等の原料ガスを燃料( $\text{O}_2$ 、 $\text{H}_2$ )とともに送り込みながら、火炎中で生成される石英系ガラスの微粒子をシリコンウェーハ1に直接吹き付けることにより行う。バーナ50をシリコンウェーハ1の上方で繰り返し移動させることにより、厚さの均一なガラス微粒子層を形成する(図3)。続いて、同様の方法により、第1のガラス微粒子層10上にコアとなる第2のガラス微粒子層20を形成する(図4)。

【0019】これらのガラス微粒子層はスス状のものであるので、ガラス微粒子層を形成する上記の工程はスス付けと呼ばれる(図2のステップ100)。

【0020】第1のガラス微粒子層10を形成するときには、ドーパント原料たる $\text{BCl}_3$ および $\text{POCl}_4$ のガスをガラス原料の $\text{SiCl}_4$ とともに酸水素炎中に送り込む。第2のガラス微粒子層20を形成するときには、 $\text{BCl}_3$ および $\text{POCl}_4$ に加えて、コアの屈折率を高めるドーパントの原料ガスとして $\text{GeCl}_4$ を送り込む。

【0021】次に、ガラス微粒子層10および20が形成されたシリコンウェーハ1を焼結炉中で加熱した後、徐冷して、ガラス微粒子層10および20を焼結する(図2のステップ200)。二つのガラス微粒子層は透明ガラス化し、これによりシリコンウェーハ1上に下部クラッド層11( $\text{SiO}_2 + \text{B}_2\text{O}_3 + \text{P}_2\text{O}_5$ )、およびコア層21( $\text{SiO}_2 + \text{GeO}_2 + \text{B}_2\text{O}_3 + \text{P}_2\text{O}_5$ )が形成されることになる(図5)。このように、本実施例では、下部クラッド層11とコア層21を同時に透明ガラス化することにより、効率良く作業を行っている。

【0022】次いで、コア層21にパターニング加工を施すべく、コア層21の上面にフォトリソグラフィ技術を用いて所定の光導波路パターンを有するフォトレジスト60を形成する(図6)。この後、コア層21に対して反応性イオンエッチングを施し、その後、フォトレジスト60を除去して、 $1 \times 8$ 分岐のコア22を形成する。このコア22は、順次に設けられたY分岐部によって1本から8本に分岐する形状のものである(図7)。以上が、コア加工である(図2のステップ300)。

【0023】なお、図6や図7では単一のコア22を示してあるが、実際には、複数の光導波路パターンを有するフォトレジストを用いて反応性イオンエッチングを行

## 6

い、図10のように、ウェーハ1上に複数のコア22を形成する。これによって、本実施例の光導波路基体が完成する。

【0024】次に、この光導波路基体の上に上部クラッド層となる第3のガラス微粒子層30をスス付けする(図2のステップ400)。これは、第1のガラス微粒子層10と同様に、酸水素炎中にドーパント原料たる $\text{BBr}_3$ および $\text{POCl}_4$ のガスを $\text{SiCl}_4$ とともに送り込みながら、火炎中で生成されるガラス微粒子をコア22および下部クラッド層11の上面に吹き付けることにより行う(図8)。

【0025】この後、このガラス微粒子層30を焼結して、ドーパントの添加された上部クラッド層31( $\text{SiO}_2 + \text{B}_2\text{O}_3 + \text{P}_2\text{O}_5$ )を形成する(図2のステップ500)。この上部クラッド層31は、下部クラッド層11と組み合わさって一つのクラッドを構成しており、このクラッドはコア22の側周面を包囲している(図9)。

【0026】コアやクラッド層のドーパント濃度は、光導波路の比屈折率差が、0.3%になるように設定する。本実施例では、上部クラッド層31に5.6wt%の $\text{B}_2\text{O}_3$ および3.3wt%の $\text{P}_2\text{O}_5$ を添加している。また、コア22には、2.3wt%の $\text{B}_2\text{O}_3$ 、1.6wt%の $\text{P}_2\text{O}_5$ 、5.4wt%の $\text{GeO}_2$ を添加している。下部クラッド層11には2.3wt%の $\text{B}_2\text{O}_3$ および1.6wt%の $\text{P}_2\text{O}_5$ を添加している。これにより、コア22の屈折率は1.4632に、上部および下部クラッド層の屈折率は1.4588に設定される。

【0027】下部クラッド層11の層厚は約 $40 \mu\text{m}$ 、上部クラッド層31の層厚(コアの上面から上部クラッド層31の上面までの厚さ)は約 $40 \mu\text{m}$ とし、コア22は $8 \times 8 \mu\text{m}$ の断面を有するように形成する。これにより、シリコンウェーハ1上に約 $90 \mu\text{m}$ の層厚を有するガラス導波層が形成される。

【0028】次に、シリコンウェーハ1(図10)をダイシングソーを用いてダイシングし、各コア22が形成された部分ごとに切り分けてチップ化する。各チップは、 $5\text{mm} \times 40\text{mm}$ の平面形状を有している。これらのチップは、 $1 \times 8$ 分岐型の光導波路として機能する。

【0029】以上の手順は、従来の光導波路の作製方法と同様である。一般に、上記のような火炎堆積法を用いた光導波路の作製方法では、ガラス微粒子層を焼結炉中で加熱した後、徐冷する際に、基板材料であるシリコンの方が導波層を構成する石英系ガラスよりも熱膨張係数が高いことから、シリコンウェーハが強く収縮する。これにより、ガラス導波層の内部には積層面に沿った方向に応力が発生する。下部クラッド層とコアを形成してから上部クラッド層を形成する方法では、この応力は主として上部クラッド層に発生し、その大きさは導波層の

表面に近いほど大きい。

【0030】ガラスの内部に応力が発生すると、光弾性効果により応力発生部の屈折率が増加する。ガラス導波層内部の応力の大きさは導波層の表面に近いほど大きいので、上部クラッド層の屈折率増加量も導波層の表面に近いほど大きくなる。これにより、コアと上部クラッド層との屈折率差が低くなるので、光の閉じ込め作用が弱まり、放射損失が増加する。

【0031】上記のように上部クラッド層31では層厚方向に沿って屈折率増加量が変化しているため、導波モードであるTEモードとTMモードとでは屈折率変化の影響が異なり、その結果、TEモードとTMモードとで放射損失の増加量が異なることになる。このため、両モード間の伝送損失の差、すなわち、偏波特性が大きくなる。偏波方向によって伝送特性が異なると通信上好ましくないため、偏波方向に応じた伝送特性の差が増大したことは、偏波特性が劣化したと言うこともできる。

【0032】本実施例では、上部クラッド層31にエッチングを施してその上部を除去し、上部クラッド層31を基板材料であるシリコンと基板上に形成する石英系ガラスに応じた適切な厚さに成形することにより、上部クラッド層31の層厚方向に沿った屈折率の変動幅を十分に小さくしている。

【0033】すなわち、本実施例では、シリコンウェーハ1を切り分けてチップ化した後、チップをHF-NH<sub>4</sub>F溶液に200分間浸漬して、チップ上の石英ガラス層、すなわち導波層のウェットエッチングを行う(図2のステップ700)。エッチング液としてHF-NH<sub>4</sub>F溶液を用いたのは、液としての安定性やエッチングの均一性を考慮したものである。

【0034】これにより、チップ上の上部クラッド層31(厚さ約40μm)が全面エッチングされてその上部が10μm除去され、層厚が約30μmになる。本実施例の光導波路の作製は、以上のようにして完了する。

【0035】本実施例では、ウェットエッチングによって、上部クラッド層31のうち屈折率変動幅の大きい上部が除去される。これにより、エッチング後に残る上部クラッド層31の屈折率変動幅は小さくなる。

【0036】また、一般に、基板を切り分けてチップ化する際には、機械的変形が生じて、ガラス導波層の側部に歪が残留する。この残留歪も導波層の屈折率変動を生じさせて偏波特性を劣化させる。

【0037】本実施例では、ウェットエッチングによりガラス導波層の上部のみならずその側部も除去されるので、これにより導波層の歪み部が除去される。したがって、本実施例によれば、上部クラッド層31の上部除去による効果と導波層の歪み部除去による効果とが相俟って、エッチング後に残る上部クラッド層31の屈折率変動幅は極めて小さくなる。

【0038】図11は、本実施例により作製された光導

波路について、ガラス導波層の層厚方向に沿った屈折率分布を示すグラフである。グラフの横軸座標はシリコンウェーハ1の上面からガラス導波層の各部に至るまでのガラス層の厚さを示し、縦軸座標はガラス導波層と下部クラッド層11との屈折率差を表す屈折率差比Δnである。この屈折率差比Δnは公知のRNF(屈折ニアフィールド)法により測定されたものである。なお、RNF法は、光工学ハンドブック(朝倉書店、1986年)の370頁に記載されている。

10 【0039】屈折率差比Δnは、

$$\Delta n = (n - n_2) / n_2 \times 100 [\%]$$

のように表される。ここで、nはガラス導波層の各部における屈折率であり、n<sub>2</sub>は下部クラッド層の屈折率である。なお、下部クラッド層の屈折率n<sub>2</sub>は、石英ガラスに添加されるドーパントの種類とその添加濃度により定まる設計値である。

20 【0040】図11のように、本実施例により作製された光導波路では、上部クラッド層における屈折率変動の幅は約0.05%となっており、コアの屈折率差比(約0.3%)と比較しても、屈折率分布がほぼ均一であると言える程度の大きさに屈折率変動幅が抑えられている。

【0041】このことは、上部クラッド層31の内部応力が十分に小さくなっていることを示すものであり、したがって、本実施例により作製される光導波路は変形が小さいものとなる。

30 【0042】本発明者らの知見によれば、本実施例のように基板材料がシリコンで、導波層を構成するガラスの種類が石英を主成分とする石英系ガラスの場合には、上部クラッド層を約30μm以下の厚さに成形すると、層厚方向に沿った上部クラッド層の屈折率変動幅が約0.05%以下になる。また、上部クラッド層を約10μm以上の厚さに成形すると、十分な光の閉じ込め作用が得られ、伝送損失が十分に低い光導波路が作製される。特に、上部クラッド層を約10～約20μmの厚さに成形すると、層厚方向に沿った屈折率変動幅が極めて低く、伝搬光の放射損失も十分に低くなるので、変形が少なく極めて良好な偏波特性を示す光導波路が得られる。

40 【0043】本発明者らは、上記実施例との比較のため、エッチングにより上部クラッド層の厚さを約30μmにする代わりに、当初から上部クラッド層を30μmの厚さに形成して光導波路を作製した(比較例1)。上部クラッド層をシリコンウェーハ1上に形成した後は、実施例1と同様にウェーハ1を切り分けチップ化する。このチップは、実施例1と同様の平面形状(5mm×40mm)を有するものである。

50 【0044】この方法は、上部クラッド層が厚いほど屈折率変動幅が大きいことに着目して上部クラッド層の厚さを調整することにより、ガラス微粒子層の透明ガラス化の際に発生する応力を低減しようとするものである。

【0045】本発明者らは、本実施例および上記比較例1により作製された光導波路について、その偏波特性、伝送損失および8本の光ファイバを内蔵する光コネクタとの接続損失を測定した。測定は、8本に分岐した各コアについて行った。次の表は、各分岐コアについて測定

	偏波特性(dB)	伝送損失(dB)	接続損失(dB)
実施例	0.1,0.3	9.5,9.9	0.1,0.3
比較例 1	0.2,0.6	9.4,10.0	0.1,0.3

【0047】この表に示されるように、本実施例により作製された光導波路は、屈折率変動幅が十分に低くなっている結果、良好な偏波特性を示すとともに、光コネクタとの接続損失も十分に小さくなっている。

【0048】各分岐コア間で伝送損失のばらつきが少なくなっており、好適である。また、比較例1により作製された光導波路も、形成する上部クラッド層の厚さを調整したことにより十分に良好な偏波特性を示し、接続損失も十分に低くなっている。しかし、比較例1の方法では、シリコンウェーハ1のチップ化の際に生ずる導波層の歪み部が除去されない。この歪み部の影響は導波層の側面に近い分岐コアほど大きいので、比較例1による光導波路は、表1のように偏波特性や伝送損失が各分岐コア間で多少ばらつきが大きくなっている。

【0049】これに対し、本実施例による光導波路は、導波層の歪み部が除去されているので、良好な偏波特性を示すのみならず、偏波特性や伝送損失のばらつきも小さくなっているのが極めて好適である。

【0050】さらに、本発明者らは、本実施例との比較のため、ウェットエッチングによる上部クラッド層31の除去部の厚さを本実施例よりも大きくして光導波路を作製した(比較例2)。

【0051】すなわち、比較例2の方法では、上部クラッド層31を約59 $\mu$ mの厚さに形成してから、シリコンウェーハ1をチップ化(チップの平面形状は実施例と同じ。)した後、このチップをHF-NH<sub>4</sub>F溶液に約600分間浸漬する。このウェットエッチングにより、チップ上の上部クラッド層31の厚さを実施例と同じ約30 $\mu$ mにする。

【0052】エッチング後の上部クラッド層31の厚さは実施例と同じであるが、実施例では上部クラッド層3

した結果のうち、最大値および最小値を示すものである。

【0046】

【表1】

1の上部が約10 $\mu$ mだけ除去されているのに対し、比較例2では約29 $\mu$ m除去されている点が実施例と異なっている。

【0053】比較例2の場合も、本実施例と同様に、エッチングによって上部クラッド層31のうち屈折率変動幅の大きい上部が除去される。また、ガラス導波層の側面からもエッチングが進行する結果、導波層の側部も上部クラッド層31の上部と同様に除去されて導波層の歪み部が除去される。このようにして作製された光導波路について、ガラス導波層の屈折率分布をRNF法を用いて測定したところ、上部クラッド層31の屈折率変動幅は0.05%以下と十分に小さくなっていた。

【0054】しかしながら、比較例2の方法では、エッチングにより除去されるガラス層側部の厚さが大きいので、エッチングによって生じる導波層側面の面だれが顕著になる。このような面だれが生じた端面に光コネクタの平坦な端面を当接させて光導波路と光コネクタとを接続しようとする、光導波路と光ファイバとのコア同士の間位置ずれ及び角度ずれが生じやすくなる。これは、光線路の伝送損失を増大させる原因となって好ましくない。

【0055】本発明者らは、上記比較例2により作製された光導波路について、その偏波特性、伝送損失および8本の光ファイバを内蔵する光コネクタとの接続損失を測定した。次の表は、各分岐コアについて測定した結果のうち、最大値および最小値を示すものであり、実施例により作製された光導波路についての測定結果も併記してある。

【0056】

【表2】

	偏波特性(dB)	伝送損失(dB)	接続損失(dB)
実施例	0.1,0.3	9.5,9.9	0.1,0.3
比較例 2	0.1,0.5	10.1,11.5	0.5,1.5

【0057】この表に示されるように、比較例2による光導波路の偏波特性は十分に小さくなっている。しかし

ながら、各分岐コア間でのばらつきが実施例にくらべて大きく、さらに、伝送損失や接続損失も大きくなってい

る。

【0058】本発明者らの知見によれば、本実施例のように基板材料がシリコンで、導波層を構成するガラスの種類が石英を主成分とする石英系ガラスの場合には、エッチングにより上部クラッド層31の上部を約10 $\mu$ m以上除去すれば、導波層の歪み部を十分に除去することができる。また、エッチングによる上部クラッド層31の除去部の厚さを約20 $\mu$ m以下とすれば、導波層側面の面だれを十分に抑えることができる。したがって、基板材料がシリコンで、導波層を構成するガラスの種類が石英を主成分とする石英系ガラスの場合には、上部クラッド層の上部を約10～約20 $\mu$ mだけ除去すると、変形が少なく、極めて良好な偏波特性を示し、なおかつ光コネクタと接続した場合にも接続損失や伝送損失が十分に低い光導波路を作製することができる。

【0059】本発明は上記実施例に限定されるものではなく、様々な変形が可能である。例えば、基板材料や導波層を構成するガラスの種類が本実施例と異なる場合でも、上部クラッド層の上部を適切な厚さだけ除去して、諸条件に応じた適切な厚さに成形することで、上部クラッド層の屈折率変動幅を十分に抑えることができる。これにより、変形が少なく、良好な偏波特性を示し、光コネクタとの接続損失の小さい光導波路を作製することができる。

#### 【0060】

【発明の効果】以上、詳細に説明した通り、本発明の光導波路の作製方法では、上部クラッド層のうち屈折率変動幅の大きい上部を除去して、上部クラッド層を適切な厚さに成形することにより、除去後の上部クラッド層の屈折率変動幅を約0.05%以下と十分に小さくしている。したがって、本発明によれば、変形が少なく、良好な偏波特性を示す光導波路を作製することができる。

【0061】本発明のうちウェットエッチングを用いる方法では、ガラス導波層の側面からもエッチングが進行することを利用して、チップ化の際に導波層側部に形成された歪み部を除去し、これによって、ガラス導波層の屈折率変動をさらに低減する。したがって、この方法によれば、変形が非常に小さく、極めて良好な偏波特性を示す光導波路を作製することができる。

【0062】基板としてシリコンウェーハを用い、ガラス微粒子層として石英系のガラス微粒子層を形成した場合には、上部クラッド層を約10～約30 $\mu$ mの厚さに成形すると、上部クラッド層の屈折率変動幅が十分に抑

えられるとともに伝搬光の放射損失も十分に低くなるので、良好な偏波特性を示す好適な光導波路を作製することができる。特に、上部クラッド層を約10～約20 $\mu$ mの厚さに成形すると、極めて良好な偏波特性を示す光導波路を作製することができ、非常に好適である。

【0063】また、基板としてシリコンウェーハを用い、ガラス微粒子層として石英系のガラス微粒子層を形成した場合、上部クラッド層の上部を約10～約20 $\mu$ mだけ除去すると、導波層の歪み部が十分に除去されるときにも導波層側面の面だれが十分に抑えられるので、良好な偏波特性を示す光導波路を作製することができる。

#### 【0064】

##### 【図面の簡単な説明】

【図1】従来の光導波路の作製方法を説明するフローチャートである。

【図2】本実施例の光導波路の作製方法を説明するフローチャートである。

【図3】本実施例の作製方法を示す第1の工程図である。

【図4】本実施例の作製方法を示す第2の工程図である。

【図5】本実施例の作製方法を示す第3の工程図である。

【図6】本実施例の作製方法を示す第4の工程図である。

【図7】本実施例の作製方法を示す第5の工程図である。

【図8】本実施例の作製方法を示す第6の工程図である。

【図9】本実施例の作製方法を示す第7の工程図である。

【図10】複数のコア22が形成されたシリコンウェーハ1を示す平面図である。

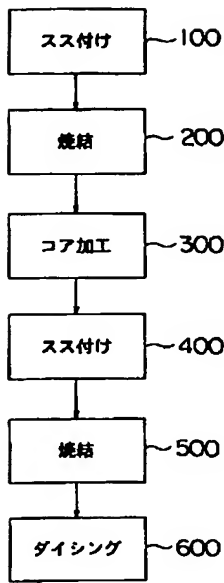
【図11】本実施例により作製された光導波路について、ガラス導波層の層厚方向に沿った屈折率分布を示すグラフである。

##### 【符号の説明】

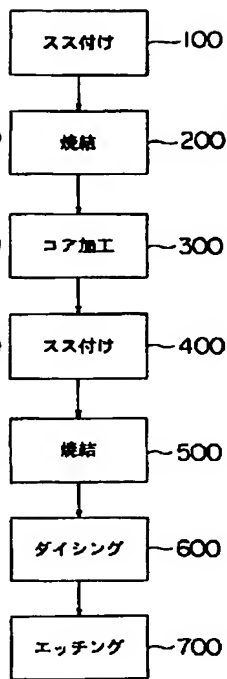
1…シリコンウェーハ、10…第1のガラス微粒子層、11…下部クラッド層、20…第2のガラス微粒子層、21…コア層、22…1×8分岐のコア、30…第3のガラス微粒子層、31…上部クラッド層、50…酸水素炎バーナ、60…フォトレジスト。



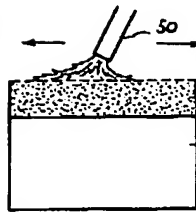
【図1】



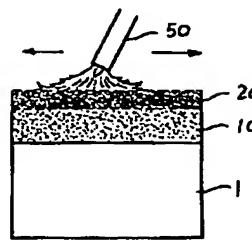
【図2】



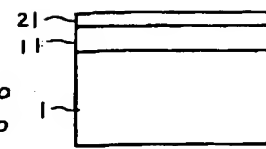
【図3】



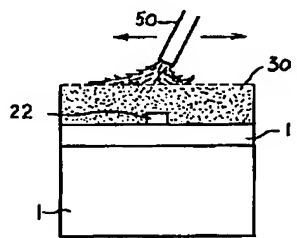
【図4】



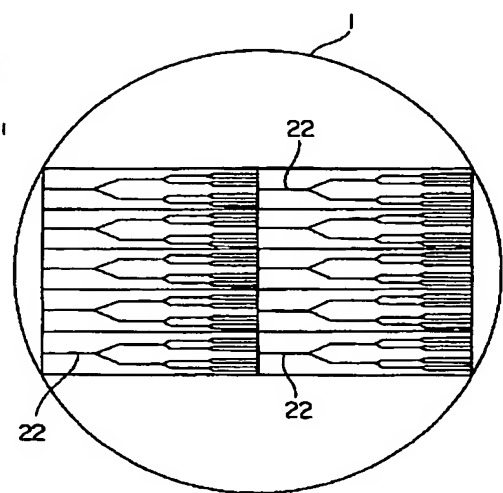
【図5】



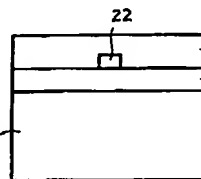
【図8】



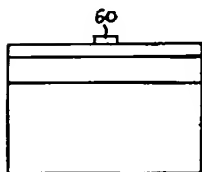
【図10】



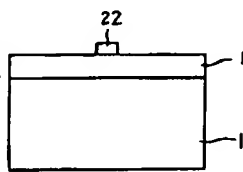
【図9】



【図6】



【図7】



【図11】

